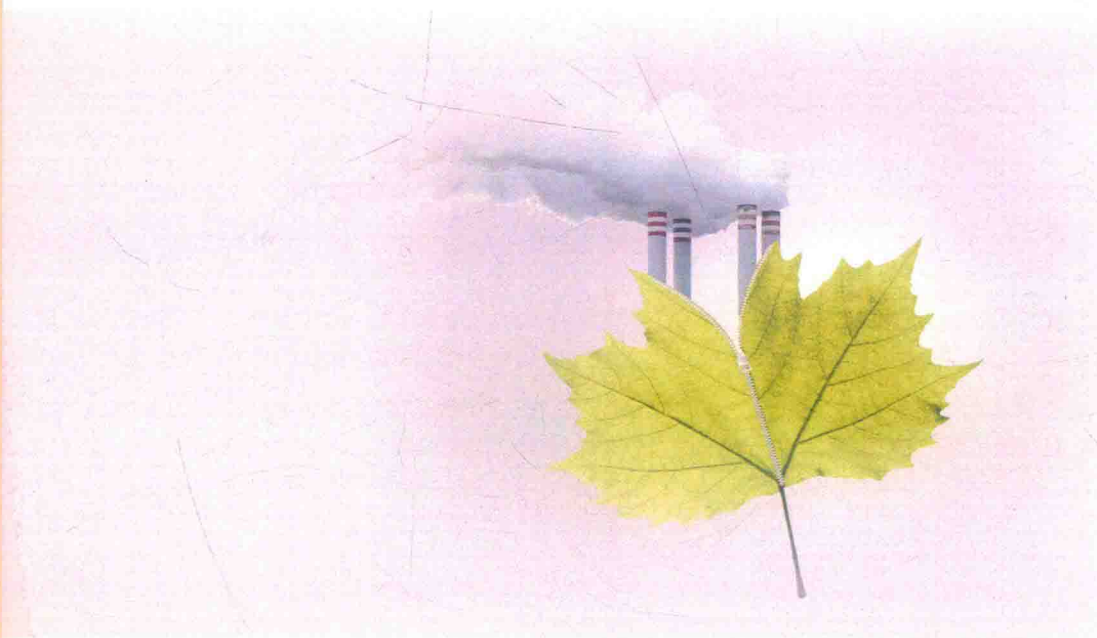


城市典型产业 碳排放综合绩效评价研究

E valuation of Comprehensive Carbon Emission
Efficiency of Urban Typical Industries

赵荣钦 刘 英 刘秉涛 侯丽朋 等◎著



科学出版社

教育部人文社会科学研究项目 (17YJCZH257)

国家自然科学基金项目 (41301633)

河南省自然科学基金项目 (182300410103)

城市典型产业 碳排放综合绩效评价研究

E valuation of Comprehensive Carbon Emission
Efficiency of Urban Typical Industries

赵荣钦 刘 英 刘秉涛 侯丽朋 等◎著

科 学 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

城市典型产业碳排放综合绩效评价研究 / 赵荣钦等著. —北京: 科学出版社, 2019.7

ISBN 978-7-03-056854-0

I. ①城… II. ①赵… III. ①城市-二氧化碳-排气-综合评价-研究-中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 048885 号

责任编辑: 石 卉 / 责任校对: 贾娜娜
责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 有道文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 7 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2019 年 7 月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 302 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

应对、减缓或适应气候变化是全球生态文明建设的重要内容。一直以来，虽然在如何应对碳减排、减缓全球气候变暖方面都存在争议，但“碳排放”仍然是各国或地区政府、学术界乃至公众关注和致力于解决的热点问题。近年来，国内外学者从不同空间尺度（如国家、区域和城市等）和不同人类活动方式（如土地利用、产业活动、旅游等）的视角围绕碳排放与区域低碳发展开展了大量深入且系统的研究，为温室气体清单编制、人类活动的碳排放评估及碳减排策略的选择提供了重要参考。

中国作为负责任的大国，不仅做出到 2030 年左右碳排放达到峰值的承诺，而且制定了一系列应对、减缓和适应气候变化的策略，以推动经济社会的低碳转型乃至发展转型。尤其是十八届三中全会以来，中国进一步明确推进绿色发展、循环发展和低碳发展的定力，并出台一系列重大政策、制度。例如，国务院印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》提出要“强化全国碳排放权交易基础支撑能力……构建国家、地方、企业三级温室气体排放核算、报告与核查工作体系，建设重点企业温室气体排放数据报送系统”；并提出要“加强温室气体排放统计与核算……完善重点行业企业温室气体排放核算指南……实行重点企（事）业单位温室气体排放数据报告制度”。

企业是经济社会的基本单元。作为能源消费和碳排放的主体之一，企业是从根本上推进低碳转型的重要力量。但企业类型复杂多样，并具有较强的空间异质性，也引致其所负载的经济、政治和社会目标的个体及区域具有差异性。企业的生产活动、方式和效率直接决定了“自然-经济-社会”复合系

统中资源能源流动的规模和效率。因此,开展企业碳排放机理研究能够从基础层面推动碳减排和经济社会的低碳转型。实质上,碳排放和碳减排研究不能仅从全球或区域的视角来考虑,开展企业单元的碳排放机理及绩效研究也十分必要。这不仅是温室气体精确核算的重要基础,也是推动企业碳减排、构建企业碳交易体制和低碳产业结构优化调整的必然要求。更重要的是,企业碳减排也是地方政府应对气候变化的重要抓手。

随着低碳发展的不断深入,碳减排的市场机制越来越得到更多发展与实践。近年来,国际上一些国家和地区相继启动碳交易市场。2013年以来中国开展7个省市的碳交易试点建设;2017年国家发展改革委发布《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》,这标志着全国统一的碳交易市场正式启动。企业是碳交易的主体,科学地开展企业碳核查和碳配额分配是建立公平合理的碳交易体制的基础,不仅决定着未来碳交易系统的健康运行,也是履行国家减排承诺的关键。开展企业碳排放综合绩效评价不仅有助于深化小尺度经济单元碳排放机理研究,从企业资源能源代谢和生产供应链的视角分析经济社会的碳排放效率;而且,从服务于国家碳交易体制的角度而言,企业碳排放研究对于完善企业碳核查和碳配额分配方法也具有重要的实践价值。虽然以企业为主体的碳交易实践业已开展,但系统开展企业碳排放及其综合绩效评价的研究成果仍不多见。因此,该书的选题具有重要的理论和实践意义。

该书作者长期从事区域系统碳循环、土地利用碳排放等领域的研究,在“自然-社会”耦合的区域碳排放及其影响机制方面开展了大量且富于学术创新的研究工作。该书得到国家自然科学基金和教育部人文社会科学研究项目等的支撑,选取具有代表性的中原城市——河南省郑州市,以181家企业为研究对象,从能源、土地利用、劳动力、水资源消耗及废弃物排放等多指标角度开展企业碳排放综合绩效的评价,对比分析不同类型产业碳排放综合绩效的差异及影响机制,提出基于碳排放综合绩效的碳配额分配方案,同时分析不同碳配额分配方案的碳减排潜力,并提出郑州市产业低碳发展的模式和对策。该书突破以往主要从行业或产业视角开展碳排放研究的局限,进一步丰富和发展了企业碳排放机理及绩效评价研究的内涵。该书不仅可以为完善企业碳核查方法和碳交易理论提供技术指导、思路或方法借鉴,也可以为政

府相关部门开展企业碳核查和碳配额分配提供实践指导。

尤其值得一提的是，该书的关注点并不局限于碳排放本身，而是综合考虑企业占地、能源投入、企业经济效率、水资源消耗和污染物排放等多要素与碳排放的关联。传统碳减排研究的目标主要是应对气候变化，但实质上除了应对气候变化之外，中国还面临着其他诸多亟待解决的环境问题，如大气污染、水污染、土壤污染、固体废弃物污染，以及大量的资源消耗和环境破坏带来的生态环境问题。因此，推动碳减排与其他多种污染物的协同治理显得十分必要。该书为推动企业碳减排、土地集约利用、资源节约与环境治理的多重目标的实现提供了理论认知和研究范例。

相信该书的出版能够推动企业碳排放研究的进一步深入，也能够为企业层面碳减排、企业碳核查和碳配额分配提供切实可行的实践借鉴，并为区域碳排放峰值控制策略的选择提供决策参考。

黄贤金

南京大学“长江学者”特聘教授

2018年10月

前言

近年来，随着“低碳热”的兴起，国内外学者围绕碳排放和区域低碳发展开展大量研究，并取得一批重要的研究成果，涉及区域、产业、土地利用、生产、贸易和消费等诸多领域。碳排放也是当前多学科交叉研究的重要方向之一。当前，中国面临突出的资源环境与经济转型问题，因此低碳发展显得尤为迫切。

企业是经济社会的基本单元，也是城市能源消费主体和碳排放的重要来源之一，开展企业层面的碳排放机理研究十分必要。目前，不少学者的研究涉及产业碳排放，但大都是基于某一行业或不同产业的对比研究，较少深入到企业层面。自 2013 年以来，我国开展 7 个省市的碳交易试点建设，并于 2017 年 12 月正式启动电力行业的全国碳交易市场。如何从企业单元视角完善碳排放绩效评价和碳配额分配方法成为当前面临的重要科学问题之一。由于企业类型、生产方式、工艺过程、技术水平、产品形式等复杂多样，企业碳排放及其效率受多种因素影响，并具有较强的空间异质性。因此，传统的区域尺度的碳排放研究方法并不适用于多样化的企业碳排放差异研究。企业碳排放研究必须基于详细的企业调查数据来开展。

自 2013 年以来，笔者先后承担中国博士后科学基金第六批特别资助项目“城市不同功能区碳排放与碳流通模拟及低碳调控研究”（2013T60518）、国家自然科学基金项目“城市典型产业空间的碳排放强度与碳代谢效率研究”（41301633）和教育部人文社会科学研究项目“基于碳排放综合绩效的企业碳配额分配研究”（17YJCZH257）等。在以上项目的支持下，笔者和课

题组成员于 2014~2016 年在郑州市和南京市开展企业调研,收集整理大量不同类型企业的第一手资料和数据,为本研究的顺利开展奠定了基础。

本书以郑州市 181 家企业为研究对象,对不同产业的碳排放进行核算,探讨碳排放效率的行业及空间差异,基于 LMDI 因素分解分析方法分析典型产业碳排放变化的影响机制;基于熵权法对典型产业碳排放综合绩效进行评价,提出基于碳排放综合绩效的碳配额分配方案,并提出郑州市低碳产业发展的模式和对策建议。

本书的特色主要体现在两个方面:一是从企业视角构建小尺度经济社会单元碳排放综合绩效评价的方法,从理论上进一步深化企业碳排放研究,突破以往仅从行业或产业视角开展碳排放研究的局限,将碳排放研究深入到微观经济单元层面,建立从能源消耗、土地利用、劳动力投入、水资源消耗及废弃物排放等多指标角度开展企业碳排放综合绩效评价的方法;二是提出基于碳排放综合绩效的企业碳配额分配方案,既可以为完善企业碳核查方法和碳交易理论提供技术指导,也可以为各级政府开展地方企业碳核查、进行更加公平合理的碳配额分配提供参考,且对推动企业碳减排、土地集约利用、资源节约与环境治理的多重目标的实现具有一定的现实指导意义。

本书的顺利完成,首先要感谢笔者的博士生导师——南京大学黄贤金教授。他对笔者的国家自然科学基金项目申请书提出宝贵的意见和建议,对本书思路的形成起到关键的引导作用。笔者在南京进行企业调研时,导师也给予了大力支持和帮助。感谢南京大学地理与海洋科学学院鹿化煜教授、濮励杰教授、李升峰副教授、钟太洋副教授、揣小伟副教授,他们在笔者博士后工作期间给予诸多关心和支持。还要感谢河南大学环境与规划学院秦耀辰教授、秦明周教授,河南省科学院地理研究所所长冯德显研究员,以及华北水利水电大学测绘与地理信息学院曹连海教授、郝仕龙教授、张战平副教授和丁明磊博士,环境与市政工程学院刘秉涛教授、管理与经济学院王洁方副教授等提出的宝贵修改建议,使研究得以进一步完善。感谢郑州市环保局李伟民副局长和朱艳在企业数据调研和收集过程中提供的帮助和支持。

从 2017 年起,笔者作为创新团队成员参与了南阳师范学院南水北调中线水源区水安全河南省协同创新中心的相关研究工作。本书的出版也得到该中心相关专项经费的资助。

本书由赵荣钦提出写作思路和大纲，由赵荣钦、刘英（郑州航空工业管理学院）统稿。具体撰写工作分工如下：第一章赵荣钦、刘英；第二章赵荣钦、满洲、刘英；第三章刘薇、丁明磊、王帅、杨文娟；第四章李宇翔、杨文娟、张战平、赵荣钦；第五章侯丽朋、赵荣钦、余娇；第六章侯丽朋、余娇、赵荣钦、刘英；第七章侯丽朋、余娇、杨青林、刘秉涛；第八章杨青林、刘英、姚伦广。

本书的顺利完成得益于几位研究生——侯丽朋、杨青林、满洲、余娇、杨文娟和王帅，以及本科生李宇翔、刘薇和唐军等的共同努力和积极参与。特别是侯丽朋在数据调研和处理等方面做了大量的基础工作，并在此基础上完成了她的硕士学位论文；余娇和李宇翔也参与了企业数据的收集、调研和整理；杨文娟参与了书稿的校核工作。在此一并表示感谢！

本书得以顺利出版要感谢科学出版社高教化资分社赵峰社长的大力支持，感谢科学出版社科学人文分社石卉编辑对本书所做的编辑工作！

需要说明的是，本书仅仅从能源、土地利用、劳动力、水资源消耗及废弃物排放等多要素入手，探讨企业碳排放综合绩效评价的方法，并尝试性地提出基于综合绩效评价的碳配额分配方案。实际上，企业碳排放的研究框架、内容和体系等方面均需进一步完善和深入。而且企业碳排放研究涉及的内容很多，如企业全生命周期过程的碳排放核算，企业碳流通和碳代谢效率，不同类型企业碳排放因子的统计和确定，政府政策、投资因素和对外贸易等对企业碳排放的影响，企业用地空间的低碳优化和调控，企业视角的“水-土-能-碳”关联研究等，都是值得进一步深入研究的方向。

由于笔者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请各位专家和读者批评指正！

赵荣钦

2018年10月于郑州

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 研究背景	2
第二节 企业碳排放机理分析	6
第三节 研究区概况	11
第四节 研究框架和结构体系	12
第二章 碳排放研究进展综述	17
第一节 气候变化与碳减排研究背景	17
第二节 城市碳排放研究进展	20
第三节 城市产业碳排放研究进展	25
第四节 企业碳交易与碳配额分配研究进展	33
第五节 研究评述	36

第三章	郑州市行业碳排放核算及全要素生产率分析	39
第一节	研究方法与数据来源	39
第二节	行业碳排放特征分析	44
第三节	行业碳排放的全要素生产率分析	56
第四章	郑州市典型产业的碳排放效率分析	67
第一节	产业碳排放效率研究方法	67
第二节	不同产业碳排放及其强度的差异分析	69
第三节	产业碳排放效率分析	75
第四节	产业碳排放效率的空间差异分析	85
第五章	郑州市典型产业碳排放的因素分解分析	91
第一节	LMDI 因素分解分析方法	91
第二节	基于 LMDI 的产业碳排放因素分解分析	97
第六章	郑州市典型产业碳排放的综合绩效评价	117
第一节	基于熵权法的碳排放综合绩效评价方法	117
第二节	产业碳排放综合绩效评价	121
第三节	产业用地效益与碳排放的关系分析	134
第七章	基于碳排放综合绩效评价的郑州市典型产业 碳配额分配研究	143
第一节	碳配额分配方法	143
第二节	产业碳配额分配方案研究	148

第三节	不同碳配额分配方案减排潜力的对比分析	172
第八章	郑州市低碳产业发展的模式和对策	177
第一节	郑州市低碳产业发展模式	177
第二节	郑州市低碳产业发展对策	188
参考文献		201

第一章

绪论

出于对全球变暖的担忧，碳排放和低碳经济成为各国政府、科学界和公众共同关心的热点问题，相关领域的研究也逐渐增多。同时，改革开放以来，中国的粗放型经济增长方式也造成了一系列突出的环境问题（Xiao and Zhao, 2017），正面临着经济新常态、产业结构调整和经济发展方式转型方面的压力。因此，如何在气候变化和低碳发展的背景下走出一条绿色、可持续、低碳高效的经济发展道路是中国面临的重要问题。为实现这一目标，中国政府秉承五大发展理念，大力推进生态文明建设，并在国家“十三五”规划和党的十九大报告中提出一系列推进生态文明建设和低碳发展的策略，计划从社会发展的各个领域全面推进经济社会的低碳转型。

作为经济社会活动的基本单元，企业是能源消费和碳排放的主体之一。由于在生产工艺过程、资源消耗、能源结构及产品类型方面存在差别，不同类型的企业的碳排放强度及效率具有显著的差异。为推动经济运行效率的提升并实现碳减排的目标，中国从 2013 年开始，分别在深圳、北京、上海等 7 省市开展碳排放交易试点；2017 年 12 月，国家发展改革委印发《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》，标志着我国碳排放交易体系完成总体设计，并正式启动。碳交易主要是以企业为基本单元，通过碳核查和配额管

理，以市场机制来约束企业的碳排放行为。因此，开展企业层面的碳排放综合绩效评价、影响机制及配额分配研究，不仅有助于从多要素视角进一步完善企业碳核查方法和碳配额分配方案，而且对于构建更加科学合理的全国统一碳交易市场体制机制具有重要的实践意义。

第一节 研究背景

一、产业碳排放是城市的主要碳排放源

随着经济社会的快速发展，碳排放增加导致的全球变暖成为国际社会广泛关注的焦点。中国已经超过美国成为全球最大的碳排放国，并在国际气候谈判中面临着较大的碳减排压力（Jiang，2016）。因此，如何协调碳减排与经济发展的关系成为我国未来经济社会发展中亟待解决的问题。中国政府一直致力于控制温室气体排放，应对气候变化，并努力成为全球气候治理的重要贡献者和引领者。哥本哈根世界气候大会上，中国政府承诺到 2020 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45%。2015 年，习近平主席在巴黎气候变化大会上提出，中国将于 2030 年左右达到碳排放峰值并争取尽早实现，2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65%。中国政府在积极履行国际义务的同时，也致力于通过自身的努力控制国家温室气体排放。国家“十三五”规划提出要实现生态环境质量总体改善；能源资源开发利用效率大幅提高，能源和水资源消耗、建设用地、碳排放总量得到有效控制，主要污染物排放总量大幅减少。党的十九大报告指出要建立健全绿色低碳循环发展的经济体系；构建市场导向的绿色技术创新体系，发展绿色金融，壮大节能环保产业、清洁生产产业、清洁能源产业；构建清洁低碳、安全高效的能源体系；推进资源全面节约和循环利用。这都向世界显示了中国应对气候变化、推动经济社会可持续发展的决心。为实现国家的减排目标、履行减排承诺，必须进一步明晰碳排放的来源

和构成,了解碳排放特征、效率及其变化规律,以便制定有针对性的减排措施,开展更加切实可行的减排行动。

城市是人类经济社会活动和资源消耗最集中的地区,也是主要的碳排放源,其温室气体排放量占全球总量的 70%以上(IPCC, 2013)。中国目前仍处于快速城市化进程中,随着城市人口的不断增加和城市规模的不断扩大,经济发展和资源环境的矛盾日益突出。产业活动特别是重工业和高耗能产业是城市碳排放的主要来源,而且,城市产业类型复杂多样,不同产业具有不同的资源能源消耗强度和碳排放效率。因此,基于企业调研开展城市产业碳排放核算是城市碳排放研究的基础工作,这不仅有助于了解城市产业碳排放的结构特征,明确各产业碳排放的变化趋势及驱动因素,深化微观经济单元碳排放的机理研究,也是落实应对气候变化和碳减排的国家行动的有效途径。

二、低碳产业是经济新常态下产业转型的必然选择

2013 年中央经济工作会议上,习近平总书记首次提出“新常态”这一概念。新常态之“新”在于经济发展模式不同于以往,新常态之“常”在于发展的相对稳定。新常态时期,经济增长、社会发展与环境保护三者的关系更和谐,社会结构更优化,经济保持中高速增长,与传统的粗放型发展模式基本告别。经济新常态着眼于提升经济发展的质量和效益,加快推进产业转型,开创经济发展新局面。如何适应经济新常态的要求,走出一条经济社会发展和环境保护相协调的道路,是新时代中国经济社会面临的重要抉择。2015 年,十八届五中全会提出“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念。党的十九大报告指出,我们要建设的现代化是人与自然和谐共生的现代化;必须坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,并提出未来低碳发展和生态文明体制改革的构想,这充分反映了国家层面对未来低碳绿色发展的关注。

产业转型的关键在于通过调整资本、劳动力等生产要素的分布,使其由高投入、高污染、低产出的传统产业向低投入、高效益的绿色环保产业和高

新技术产业转移,从而实现产业结构、组织及技术等多方面的优化。工业是经济的支柱,也是产业转型的重点领域。中国城市传统产业部门长期处于粗放型发展中,资源能源消耗大且产出效益低,资源型产业普遍存在产能过剩的问题。从适应经济新常态的要求出发,发展低碳绿色产业是未来产业转型的必然趋势。这就要求对城市不同产业的碳排放绩效进行科学合理的评价,以寻求低碳高效的产业发展模式,为区域产业转型和低碳产业结构优化提供实践指导。

三、城市产业碳排放综合绩效评价是完善碳核查理论和方法的基础

碳核查是开展碳排放交易的重要前提。国家“十二五”规划提出建立完善温室气体统计核算制度,逐步建立碳排放交易市场。《“十二五”控制温室气体排放工作方案》提出加快构建国家、地方、企业三级温室气体排放核算工作体系,实行重点企业直接报送温室气体排放和能源消费数据制度。2013~2015年,国家发展开放革委分三批发布了24个重点行业企业温室气体排放核算方法与报告指南,以帮助企业科学核算和规范报告自身的温室气体排放,制定企业温室气体排放控制计划,积极参与碳排放交易,强化企业社会责任,同时也为相关部门掌握重点企业温室气体排放情况、制定相关政策提供支撑。这些指南成为2013年我国开展碳交易试点建设以来各地方开展企业碳核查的主要依据。但总体来看,这些方法重点是从企业生产工艺过程入手,对企业各种能源投入的碳排放进行核算,强调的是企业碳排放本身的差异,而没有综合考虑企业产值、用水及废弃物排放等多要素对碳排放效率的影响。

实质上,碳排放效率的差异也应该成为碳核查的重要参考因子。基于碳排放综合绩效评价开展企业碳核查对于推动建立公平合理的碳交易体制具有重要意义,这不仅有助于衡量产业碳排放对经济发展、社会福利水平及环境质量的影响,而且有助于制定差别化的产业低碳发展模式和策略,引导城市产业低碳转型。

四、企业碳配额分配是构建科学合理的碳交易体制的基础

《京都议定书》把市场机制作为解决以二氧化碳为代表的温室气体减排问题的新路径,即把碳排放权作为一种商品而进行交易,简称“碳交易”。当前,国际上一些国家和地区,如欧盟、美国、新西兰等都建立了碳交易市场,这成为应对全球气候变化、推动碳减排的重要举措。2008年,国家发展改革委首次提出要建立国内的碳交易所。2011年11月,国家发展改革委下发《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》,批准北京、上海、广州、深圳、天津、重庆、湖北等7省市开展碳排放权交易试点工作。2013年6月18日,中国第一个碳交易试点在深圳正式启动。2017年12月,国家发展改革委印发《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》,标志着全国统一的碳交易市场正式启动。

企业是经济活动的基本单元,是碳交易市场的主要参与者。制定确保企业获得与其生产经营水平相适应的碳排放空间的碳配额分配方案是企业参与碳交易的基础。对于起步不久的中国碳交易市场而言,建立科学合理的碳交易体制,确定总量控制下的各企业部门的碳配额是确保碳市场健康运行的关键。传统碳配额分配主要采用历史法和基准线法进行,未能从企业资源消耗、用水、废弃物排放、土地占用及劳动力投入等角度综合考虑企业碳排放效率的差异。科学合理的碳配额分配方案必须充分考虑多要素对碳排放的影响,这对构建更加公平合理的碳配额分配制度和碳交易机制具有重要的实践意义。

基于上述研究背景,本书以郑州市为例,通过对企业能源消费碳排放的核算,探讨不同生产要素对企业碳排放的驱动机制,并提出基于碳排放综合绩效评价的企业碳配额分配方案。一方面,本书综合评估企业生产过程各投入要素(能源、用地、用水、劳动力)及产出要素(工业产值、废弃物排放)对碳排放效率的影响,建立基于熵权法的产业碳排放综合绩效评价的方法。这突破了前期研究仅关注产业碳排放及其强度差异的不足,将企业碳排放与企业污染治理、资源节约相结合,从理论角度进一步丰富和深化了小尺度经济社会单元的碳排放研究,为今后开展企业视角的碳排放研究提供了参考和方法借鉴。另一方面,本书提出了基于碳排放综合绩效评价的碳配额分